الفراغات اللونية الرقمية ودورها فى التأثير والتحكم فى الجودة اللونية للصورة السينمائية التقليدية والرقمية

Digital color spaces and its role in influencing and controlling color quality of traditional and digital cinema image

م.د/ أحمد محمد عبد المتجلى السعدنى

المدرس بقسم الفوتوغرافيا والسينما والتليفزيون – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان

مقدمة البحث:

على مدار سنوات عمل نظام الصورة الرقمية – سواء كانت هذه الصورة ثابتة أو متحركة – تم إبتكار العديد من الفراغات اللونية الرقمية (**Digital Color Spaces**), والتى تم إستخدامها جميعاً لتحديد وتصنيف الألوان وفقاً لسماتها المُختلفة, وعلى الرغم من ذلك يتحدد عدد مُعين من الفراغات اللونية الرقمية والتى يكون لها علاقة بإنتاج اللون فى نوعيتى الصورة السينمائية التقليدى منها أو الرقمى. هذه الفراغات اللونية الرقمية تعتمد فى بنيتها الأساسية على النظام اللونى (**C.I.E**) أكثر الأنظمة اللونية إستخداماً فى وصف الحدود اللونية للصورة السينمائية سواء كانت تقليدية أو رقمية.

وهنا نود أن نشير إلى أن الدور الرئيسى للفراغ اللونى الرقمى يتحدد فى قدرة هذا الفراغ اللونى الرقمى على تمثيل وتكويد كافة الدرجات اللونية التى يمكن للعين البشرية أن تُحددها وتُميزها فى الصورة السينمائية النهائية, وبالرغم من أنه لم يتم حتى الأن إبتكار فراغ لونى رقمى يستطيع تغطية حدود الرؤية اللونية الكاملة للعين البشرية, إلا أن الفراغات اللونية الرقمية الحديثة إقتربت من تحقيق هذا الهدف, ومن أهم هذه الفراغات اللونية الرقمية, الفراغ اللونى الرقمى (**CIE XYZ**) والفراغ اللونى الرقمى (**DCI–P3**) والفراغ اللونى الرقمى (**ACES**), هذه الفراغات اللونية الرقمية هى الأكثر شيوعاً وإستخداماً فى تحديد وتكويد القيم اللونية للصورة السينمائية التقليدية والرقمية, على مدار مراحل التصوير والتصحيح اللونى وحتى مرحلة العرض السينمائى الرقمى.

مشكلة البحث:

منذ بداية عصر السينما الرقمية عام 2002م تم إبتكار عدد من الفراغات اللونية الرقمية لتحديد وتكويد وتصحيح ألوان الصورة السينمائية – التقليدية والرقمية – رقمياً, وبعد تجارب عديدة, تم إنتقاء فراغين لونيين رقميين أساسيين للعمل بهما, وهما (**CIE XYZ**) – والذى تم تخصيصه للعمل مع مراحل إنتاج الصورة السينمائية وحتى مرحلة التصحيح اللونى النهائى فقط – و(**DPI–P3**) – والذى تم تخصيصه للعمل مع نظام العرض السينمائى الرقمى فقط– على أن يلجأ صانعى الصورة السينمائية إلى تحويل قيم التمثيل اللونية بين الفراغين اللونيين الرقميين السالف ذكرهما.

ومع نهاية عام 2013م, تم إبتكار الفراغ اللونى الرقمى (**ACES**) بما له من مميزات جعلته منافساً للفراغيين اللونيين الرقميين (**CIE XYZ**) و(**DCI–P3**), ولكن دون وجود المعلومات الكافية لإستخدام (**ACES**) إلا فى حدود ضيقة فى بعض المعامل السينمائية الرقمية الخاصة وللأسف لا توجد فى المعامل المتعارف عليها فى المجال السينمائى فى مصر, وذلك بناء على زيارات قام بها الباحث لهذه المعامل السينمائية الرقمية فى مصر.

DOI: 10.12816/0045721

هدف البحث:

يهدف البحث إلى تقديم دراسة علمية وافية عن الفراغ اللونى الرقمى (**ACES**) ودوره فى فى التأثير والتحكم فى الجودة اللونية للصورة السينمائية النهائية سواءً كانت تقليدية أو رقمية وذلك مقارنة بالفراغين اللونيين الرقميين (**CIE XYZ**) و(**DCI-P3**).

فروض وتساؤلات البحث:

- ما هي الفراغات اللونية الرقمية، وما هو الفرق بينها وبين النماذج اللونية التقليدية؟
- ما هو الفراغ اللوني الرقمي (**ACES**)، وما هو الجديد الذي يقدمه ليجعله في تنافسية مع الفراغين اللونيين الرقميين (**CIE XYZ**) و(**DCI-P3**)؟
- إذا تمت دراسة الحدود اللونية للفراغات اللونية الرقمية (**CIE XYZ**) و(**DCI-P3**) و(**ACES**) نستطيع أن نحكم على أفضليه أي منهم في إعطاء الجودة اللونية العالية للصورة السينمائية النهائية سواءً كانت تقليدية أو رقمية.

منهج البحث:

يتبع البحث المنهج الوصفي لدراسة المميزات والحدود اللونية للفراغات اللونية الرقمية (**CIE XYZ**) و(**DCI-P3**) و(**ACES**) لتحديد لتحديد دور كل منهم وأيضاً تحديد أفضلية أي منهم في التأثير والتحكم في الجودة اللونية للصورة السينمائية النهائية سواءً كانت تقليدية أو رقمية.

المصطلحات العلمية الخاصة بالبحث:

- **DCI:**

إختصار (**Digital Cinema Image**) أى الصورة السينمائية الرقمية

- **DCP:**

إختصار (**Digital Cinema Projection**) أى العرض السينمائى الرقمى.

- **DI:**

اختصار (**Digital Intermediate**) أو الوسيط الرقمي وهو عبارة عن معمل رقمي للصورة السينمائية بنوعيها والصورة التليفزيونية تتعدد مهامه ما بين تكويد الألوان، والتصحيح اللوني وعمل المؤثرات الجرافيكية والخدع والكتابات على الصورة والمعايرات اللونية النهائية للصورة.

- **Emulsion Layers:**

طبقات المستحلب أو المُستحلبات الحساسة (**Emulsion Layers**) وهي الطبقات الحساسة الثلاثة للفيلم السينمائي التقليدي والتي تحتوي كل طبقة منها على صبغة لونية من الألوان الطرحية (**CMYK**) والتي أُعدت جميعاً لكي تستجيب للحيز الطيفي للألوان الأساسية الأخضر والأحمر والأزرق.

- **Intermediate Film:**

الأفلام السينمائية الوسيطة (**Intermediate Films**) والتي يتم استخدامها لإنتاج الخطوات الوسيطة فى منظومة الإنتاج السينمائي والتى تتضمن أغراض المؤثرات الخاصة والكتابات، هذا إلى جانب إنتاج أجيال مختلفة من النيجاتيف الأصلي

- **LUT:**

إختصار (**Look-up Tables**) أو تفحص الجدول وهى طريقة تستخدم لتحويل قيم الألوان بين الفراغات اللونية المُختلفة, وهى عبارة عن جداول حسابية تُستخدم لعرض قيم مخرجة (**Output Value**) مقابلة أو مُناظرة لقيم مُدخلة (**Input Value**), وعندما تُستخدم جداول التفحص (**LUTs**) فى مُعالجة الصورة, فيكون دورها هو تحويل مجموعة من ثلاث قيم لونية أساسية (**RGB**) إلى مجموعة لونية أخرى من نوعية (**RGB**).

- **OCN:**

إختصار (**Original Camera Negative**) أو النيجاتيف الفيلمى السينمائى الأصلى.

- **ODT:**

إختصار (**Output Device Transforms**) وهى عبارة عن مجموعة من أدوات التحويل المرجعية (**Reference Transforms**) للتحويل من النظام اللونى الرقمى (**ACES**) إلى أنماط خرج الفراغات اللونية القياسية الأخرى مثل الفراغ اللونى (**Rec709**) والخاص بنظام (**HDTV**) والفرغ اللونى (**Rec.2020**) والخاص بنظام (**Ultra HD**).

- **RRT:**

إختصار (**Reference Rendering Transform**) وهى تقنية تستخدم لعرض وتمثيل الدرجات اللونية المنتجة من قِبل الفراغ اللونى الرقمى (**ACES**) وذلك مع نظم العرض الرقمية.

- **White Point:**

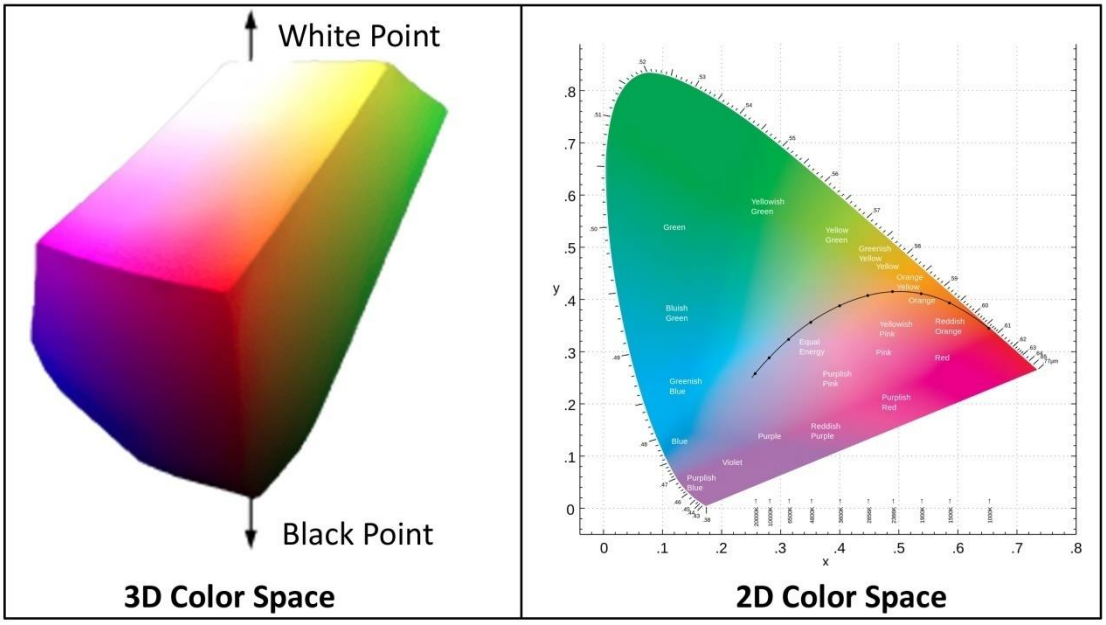
تُعرف النقطة البيضاء (**White Point**)، بأنها اللون الأبيض المُنبعث إذا كانت كل قنوات الألوان الأساسية الثلاثة (**RGB**) مُوزعة بشكل متساوى, وتتواجد النقطة البيضاء دائما فى منتصف أى نموذج لونى قياسى أو أى فراغ لونى رقمى.

1- الفراغ اللونى الرقمى Digital Color Space:

1-1- تعريف الفراغ اللونى الرقمى Digital Color Space Definition:

يتم تعريف الفراغ اللوني الرقمى (**Digital Color Space**) على أنه التمثيل الهندسى للألوان فى فراغ ثُلاثى الأبعاد (**3D Color Space**) أى إيجاد مواقع الألوان داخل هذا الفراغ من خلال ثلاثة إحداثيات هى (**x,y,z**), حيث يتخذ هذا الفراغ ثلاثى الأبعاد عدة أشكال مثل الشكل الكروى (**Sphere**) أو شكل المكعب (**Cube**) أو شكل المخروط (**Cone**), ليتم تمثيل قيم الألوان آيا كان شكل هذا الفراغ ثُلاثى الأبعاد (**3D Color Space**), وذلك بخلاف النموذج اللونى (**Color Model**) والذى يقوم بتمثيل الألوان بطريقة حسابية من خلال شكل بيانى كما هو الحال فى نموذج (**CIE 1931**) اللونى والذى يتم فيه تحديد مواقع الألوان من خلال إحداثيين إثنين هما (**x,y**), ويعرض شكل (1) مقارنة لتمثيل القيم اللونية من خلال نموذج لونى ثنائى الأبعاد (**2D Color Model**) فى مقابل هذا التمثيل من خلال فراغ لونى ثلاثى الأبعاد (**3D Color Space**)[1].

[1] **https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/color-spaces.htm**



شكل (1): مقارنة لتمثيل القيم اللونية من خلال نموذج للفراغ اللونى ثنائى الأبعاد (2D Color Space) فى مقابل نموذج للفراغ اللونى ثلاثى الأبعاد (3D Color Space).

1-2- أهمية الفراغات اللونية الرقمية Digital Color Spaces' Importance:

تلعب الفراغات اللونية الرقمية (**Digital Color Models**) نفس الدور الذى كانت تلعبه النماذج اللونية (**Color Models**) فى الماضى وهو إستخدامها فى القياسات والمعايرات اللونية لمراحل إنتاج الصورة السينمائية, فقديماً وقبل ظهور السينما الرقمية عام 2002م, تم الإعتماد كُلياً على النموذج اللونى (**CIE 1931**) مع النماذج اللونية المشتقة منه – مثل (**CIE LUV**) و(**CIE LAB**) – فى عملية المعايرة والقياس اللونى لكل مُعدة وجهاز فى كل مرحلة من مراحل صناعة الصورة السينمائية التقليدية سواءً فى مرحلة التصوير أو فى مرحلة المعمل السينمائى التقليدى بداية من تحميض فيلم الكاميرا (**OCN**) مرورا بالتصحيح اللونى (**Grading**) وحتى طباعة وإعداد نسخة العرض النهائية (**Final Print**).

إلا أنه وبعد ظهور نظام السينما الرقمية تم إبتكار فراغات لونية رقمية إعتمدت فى تكوينها الأساسى على أساس النموذج اللونى (**CIE 1931**), لتلائم بيئة العمل السينمائية الرقمية والتقليدية على حد سواء, حيث تقوم بوصف القيم اللونية رقميًا عن طريق إستخدام مجموعة من المُعادلات تُحدد العلاقة بين ثلاثية اللون (**Color Triplet**) وبين النماذج اللونية القياسية (**CIE**), وينشأ عن ذلك أرقام تُحدد إحداثيات موقع هذا اللون داخل الفراغ اللوني ثلاثى الأبعاد (**3D Color Space**) الخاص بكل مُعدة تم تخصيصها للعمل فى نظام السينما الرقمية[2], وعلى هذا الأساس تتحدد أهمية الفراغات اللونية الرقمية فى الوظائف الأساسية التالية:

- تحديد وقياس القيم اللونية التى تقوم بأنتاجها الأسطح الحساسة الرقمية (**Digital Sensors**) المُستخدمة فى الأجهزة والمُعدات الرقمية التى تعمل فى بيئة عمل السينما الرقمية لتحديد جودة إنتاج اللون فى هذا السطح الحساس, كما يقوم بمعايرة هذه القيم اللونية على المُخطط البيانى الخاص بنموذج (**CIE**) اللونى والخاص

[2] **Alexander Poularikas, "Digital Color Imaging Handbook", Focal Press, U.S.A, 2013, pp.33-34**

بتسجيل القيم اللونية التى تُدركها العين البشرية وتتواجد هذه الأسطح الحساسة الرقمية (**Digital Sensors**) فى الأجهزة والمعدات السينمائية الرقمية التالية:

- كاميرات التصوير السينمائية الرقمية (**Digital Cinematography Cameras**).
- الماسحات الفيلمية الرقمية (**Digital Film Scanners**).
- مسجلات الأفلام الرقمية (**Digital Film Recorders**).
- أجهزة الرؤية (الشاشات) المُستخدمة فى بيئة عمل الوسيط الرقمى (**DI**).
- أجهزة التحكم فى جودة الصورة السينمائية الرقمية (**DCI Quality Control Devices**).
- أجهزة العرض السينمائية الرقمية (**DCP Devices**).

- تعمل هذه الفراغات اللونية كنظام برامجى (**Software**) داخل نظام تشغيل الأجهزة والمعدات السينمائية الرقمية السالف ذكرها, الأمر الذى يُتيح للمستخدم إمكانية إختيار الفراغ اللونى الرقمى المناسب من بين عدة فراغات لونية رقمية تزود بها النظم البرامجية لهذه الأجهزة والمعدات.
- تُستخدم فى عملية نقل وتكويد ألوان صورة الفيلم السينمائى التقليدى, من خلال إعادة تمثيل قيمها اللونية والمُسجلة بنظام الصبغات (**CMYK Dyes**), إلى شكل قيم رقمية تتبع النظام اللونى الجمعى (**RGB**), ويتم ذلك من خلال برامج تشغيل (**Software**) الماسحات الفيلمية الرقمية (**Digital Film Scanner**) والتى تقوم بمسح صورة الفيلم السينمائى التقليدى ونقلها من خلال نظام الوسيط الرقمى (**DI System**) إلى العالم الرقمى.
- تتواجد هذه الفراغات اللونية كجزء من برامج المونتاج (**Editing Software**) وبرامج التصحيح اللونى (**Color Correction Software**), الأمر الذى يُتيح لمستخدمى هذه البرامج إمكانية إختيار الفراغ اللونى الرقمى المناسب – والذى سيتم تصحيح ألوان اللقطة السينمائية من خلاله – من بين عدة فراغات لونية رقمية تُزود بها هذه البرامج, كما يُمكن للمُستخدم التحويل بين أنظمة الفراغات اللونية الرقمية المختلفة داخل نفس البرنامج[3].

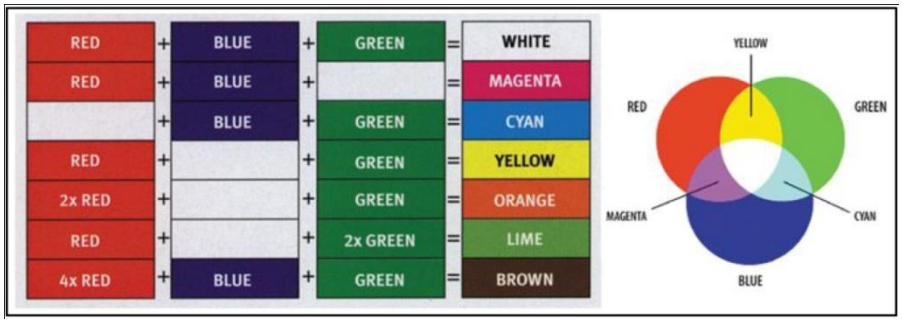
تستخدم الأجهزة والمعدات السينمائية الرقمية قيماً للألوان الأساسية تكون خاصة بكل جهاز وتسمي هذه القيم بإسم الإستجابات الطيفية (**Spectral Responses**) وبالتالى تستخدم كل تقنية فراغ لوني مُختلف عن التقنية الأخرى, لذلك يُعتبر نقل الصور بين الوسائط والتقنيات المختلفة بعد التحويل بين فراغات الألوان الرقمية (**Digital Color Spaces**) جزءًا حيويًا للحصول على أي صورة بجودة عالية. ويمكن التحويل من أي فراغ لوني رقمى (**Color Space**) لأحد الألوان الأساسية إلى فراغ لوني آخر عن طريق إستخدام شكل رياضي يُطلق عليه إسم مصفوفة التحويل (**Matrix Transformation**).

تمتلك مُعظم وسائل التصوير والتصحيح اللونى والعرض فراغات لونية رقمية (**Color Spaces**) خاصة بها، وبالرغم من أنه يُمكن تحويل صورة بين وسيلتين لكل منهما فراغ لوني مختلف, فيكون من المناسب تحديد فراغ لوني قياسي (**Standard Color Space**) يُستخدم كحلقة مُتوسطة للحكم بين تقنيتان تعتمدان على فراغين لونيين مُختلفين[4].

[3] Maureen C. Stone, "A Survey of Color for Computer Graphics", Course at SIGGRAPH, white paper, 2013, p.3
[4] Glenn Kennel, "Color & Mastering for Digital Cinema", Focal Press, U.S.A, 2007, p.72

1-3- النظام اللونى الجمعى Additive Color System:

يسمى أيضاً بنظام (RGB) ويُؤسس هذا النظام على مجموعة الألوان التى تكون وثيقة الصلة بالضوء وبمزج ألوانه, ويتكون هذا النظام من الألوان الأساسية (Primary Colors) الأحمر والأخضر والأزرق (Red, Green, Blue), وقد سُمي النظام الجمعى (Additive System) بهذا الإسم لأن جمع الألوان الأساسية معاً يَنتج عنه الضوء الأبيض (White Light), وتتضح مكونات النظام اللونى الجمعى فى شكل (2).



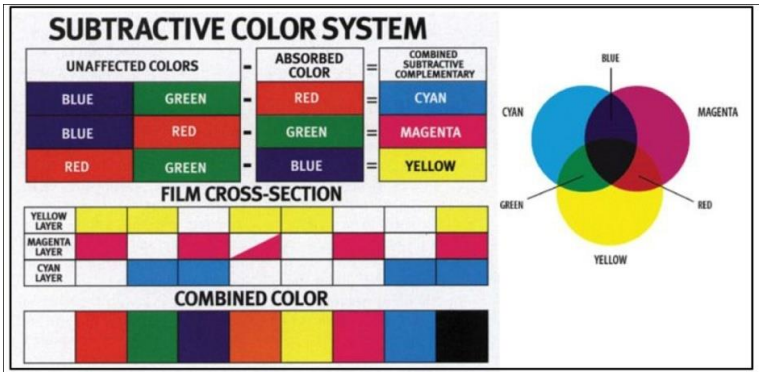
شكل (2): مكونات النظام اللون الجمعى (Additive Color System) (RGB).

وفقاً للشكل السابق, يُمكن الحصول على الألوان الطرحية (Subtractive Colors) عندما نمزج اللونين الأحمر والأزرق لإنتاج اللون الماجنتا (RED+BLUE=MAGENTA), أو عندما نمزج اللونين الأخضر والأزرق للحصول علي اللون السيان (GREEN+BLUE=CYAN), أوعندما نمزج اللونين الأحمر والأخضر للحصول علي اللون الأصفر (RED+GREEN=YELLOW), ونظراً لتغير مُكونات اللون بتغير النموذج والنظام اللونى, فينتج عن ذلك أنه عند تغيير أي صورة من النظام الجمعي إلي النظام الطرحي نشهد تغيراً طفيفاً في الألوان[5].

1-4- النظام اللونى الطرحى Subtractive Color System:

يسمى أيضاً بنظام (CMYK), وهو نظام يعتمد فى بناءه على الألوان السيان (C) والماجينتا (M) والأصفر (Y) والأسود (K)، ويعتمد على تكوين الألوان بالطرح, وتُسمي تلك الألوان الواناً طرحية (Subtractive Colors) أى أن كل لون فيها يوضع علي ورقة يطرح من كمية الضوء المنعكس إلينا من سطح الورق حتى تصبح سوداء في نظرنا أى أن الألوان الأزرق الداكن (Cyan) والأصفر (Yellow) والأحمر المزرق (Magenta) هي الألوان المكملة للضوء والذي تعد ألوانه الأساسية هى الأحمر (Red) والأخضر (Green) والأزرق (Blue) ويتم تكون كل الصبغات المطلوبة من هذه الألوان الثلاثة, حيث أن إستخدام هذه الألوان الطرحية (Subtractive Colors) معاً يؤدي إلي خلق النموذج اللونى (CMYK) حيث (C=B+G), (M=B+R), (Y=G+R), (C+M+Y=K). وفى حقيقة الأمر فإن هذه الألوان الثلاثة (CMY) لا يُمكنها إنتاج اللون الأسود حتي مع كثافتها الكاملة, فالألوان السيان (C) والماجنتا (M) والأصفر (Y) المُمتزجة بنسب متساوية لا تنتج أكثر من لون بني طيني, وهو ما دعا إلي إضافة اللون الأسود (K) إلي النموذج لكي يساعد في إبراز وتعميق ظلال الألوان وبالتالى طباعة اللون الأسود الحقيقي, كما يتضح من شكل (3)[6].

[5] Maureen C. Stone, ibid, p.7
[6] Alexis Van Hurkman, " Color Correction Handbook: Professional Techniques for Video and Cinema", Focal Press, U.S.A, 2014, p.47



شكل (3): نموذج الألوان الطرحيـــة (Subtractive Color System) (CMYK).

2- صناعة اللون فى الصورة السينمائية Color Industry in Cinema Image:

يقصد بصناعة اللون فى الصورة السينمائية الطريقة التى يتم بها تسجيل الألوان على وسيط التسجيل السينمائى سواً كان هذا الوسيط هو الخام السينمائى (Film Stock) فى حالة التصوير السينمائى التقليدى أو السطح الحساس الرقمى (Digital Sensor) فى حالة التصوير السينمائى الرقمى[7].

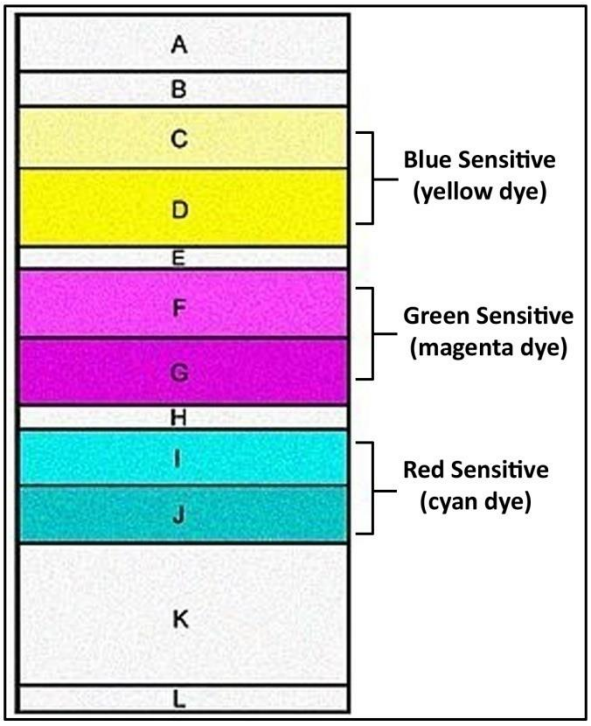
2-1- صناعة اللون فى الصورة السينمائية التقليدية:
Color Industry in Traditional Cinema Image:

بشكل عام تعتمد صناعة اللون فى الصورة السينمائية التقليدية على الخام السينمائى (Film Stock) والذى يتم تسجيل المفردات اللونية للصورة السينمائية عليه. وتتحدد أنواع الخام السينمائى فى ثلاثة أنواع وهى خام الكاميرا (OCN) والخام الوسيط (Intermediate Film) وأخيراً خام الطبع (Print Film), وفى كل الحالات وعلى إختلاف نوعية الخام السينمائى, يتم تسجيل المفردات اللونية للصورة السينمائية التقليدية بنفس النظرية إعتماداً على الصبغات الفيلمية (Film Dyes) والتى تتكون من الدرجات اللونية (Cyan\Magenta\Yellow\Black) أو (CMYK) والخاصة بالنظام اللونى الطرحى (Subtractive Color System), ويتضح تركيب الطبقات الأساسية للخام السينمائى على إختلاف نوعيته فى شكل (4)[8].

مما سبق يتضح أن اللون فى الخام السينمائى الملون يتكون نتيجة تفاعلات كيميائية تنتج أثناء مرحلة الإظهار وينتج عنها مجموعة من الصبغات ذات الألوان المكملة – الأصفر والماجنتا والسيان – على طبقات المستحلب الثلاثة للخام آياً كان نوعه, ومن الوجهة النظرية يجب أن تُكَون هذه الصبغات المكونة للصور الملونة تسجيلاً وترجمة صادقة للألوان فى الطبيعة, كما تعتبر هذه الصبغات مثالية إذا إستطاعت أن تسمح بمرور جميع الأشعة الضوئية التى يجب أن تمتص ما يناسبها فقط بينما تترك ما يخالفها[9]. وعملية تشغيل الفيلم تحتوى ضمن خطواتها على عملية إذابة للصورة الفضية وإنتاج الصبغات فى طبقات الفيلم بلون مكمل لنفس اللون الموجود فى المساحة المناظرة له فى الموضوع الأصلى على الفيلم السالب, أما بالنسبة للمساحات التى لم يتم تعريضها للضوء فى طبقات المستحلب (Emulsion) فينتج فيها مسحة مكونة من اللون البرتقالى, وتظهر على كامل طول الفيلم وهى التى يطلق عليها إسم القناع الداخلى (Internal Masking)

[7] Charles S.Swartz, "Understanding Digital Cinema", 2nd Edition, Focal Press, U.S.A, 2011, p.98
[8] Paul Wheeler, "Practical Cinematography", 2nd Edition, Focal Press, U.S.A, 2005, p.36
[9] Blain Brown, "Cinematography : Theory and Practice", 2nd Edition, Focal Press, U.S.A, 2012, p.29

والتى تستخدم فى جميع الأفلام السالبة والأفلام الوسيطة لإنتاج لون جيد ويمكن أن ترشح **(Filtered)** أو تحذف أثناء عملية الطبع وبالتالى لن تظهر على النسخة الموجبة, كما تساعد على إعادة إنتاج اللون خلال عمليات الطبع المتكررة[10].



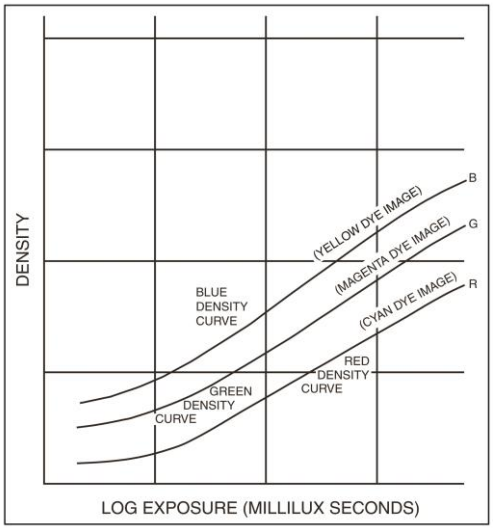
شكل (4): تمثيل للطبقات الأساسية للخام السينمائى على إختلاف نوعيته حيث (A): طبقة تغطية للحماية, (B): طبقة من فلتر (UV), (C): طبقة حساسة للون الأزرق سريعة, (D): طبقة حساسة للون الأزرق بطيئة, (E): فلتر أصفر يمنع مرور الضوء الأزرق إلى الطبقة التالية, (F): طبقة حساسة للون الأخضر سريعة, (G): طبقة حساسة للون الأخضر بطيئة, (H): طبقة ثانوية داخلية, (I): طبقة حساسة للون الأحمر سريعة, (J): طبقة حساسة للون الأحمر بطيئة, (K): قاعدة الفيلم (Film Base), (L) الطبقة المانعة للهالة الضوئية (rem–jet).

يوضح **شكل (5)** إتحاد الصور الصبغية الثلاثة للخام لتكوين ألوان الصورة السينمائية الملونة, وهنا لابد أن نذكر أن قياسات المنحنيات الثلاثة التى تُمثل القيم اللونية لصبغات المستحلبات الحساس **(Sensitive Emulsion)** يجب أن تكون متشابهه جداً فى الشكل بقدر الأمكان للتدليل على أن الطبقات اللونية للمستحلبات الثلاثة الحساسة **(Sensitive Emulsion)** تستجيب للضوء بالتساوى, ويتضح ذلك فى شكل (6) والذى يوضح منحنى مثالى لقياس الكثافات اللونية للصبغات الثلاثة التى يحتويها المستحلب الحساس للخام السينمائى[11].

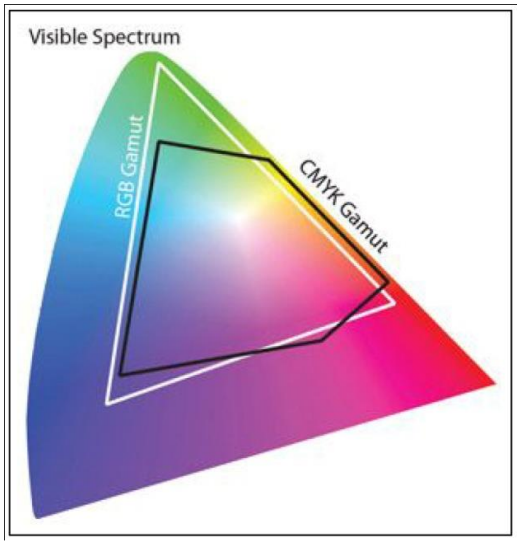
شكل (5): إتحاد الصور الصبغية الثلاثة للفيلم لتكوين الصورة السينمائية الملونة.

[10] Dominic Case, "Film Technology in Post Production", 3rd Edition, , Focal Press, U.S.A, 2009, p.51
[11] Paul Wheeler, ibid, p.39

وعند نقل صورة الفيلم السينمائى إلى الشكل الرقمى – سواء بغرض الأرشفة الرقمية أو بغرض إجراء عمليتى المونتاج والتصحيح اللونى الرقميين على صورة الفيلم السينمائى التقليدى – يتم تكويد باليتة الألوان الصبغية للفيلم التقليدى والتى تتبع نظام اللون الطرحى إلى أكواد وقيم رقمية تتبع نظام اللون الجمعى, وذلك عن طريق برمجيات أجهزة المسح الفيلمى الرقمى **(Digital Film Scanner Software)** والتى تعمل طبقاً للفراغات اللونية الرقمية والتى تتم عملية التحويل اللونية من خلالها, ويعرض شكل (7) قطاع ثنائى الأبعاد لأحد الفراغات اللونية الرقمية مُمثلاً عليه مقارنة بين الحدود اللونية لنظام **(RGB)** والحدود اللونية لنظام **(CMYK)** والتى يتم من خلالها تحويل ألوان الفيلم السينمائى التقليدى إلى الشكل الرقمى[12].



شكل (6): والذى يوضح منحنى مثالى لقياس الكثافات اللونية للصبغات الثلاثة التى يحتويها المستحلب الحساس للخام السينمائى



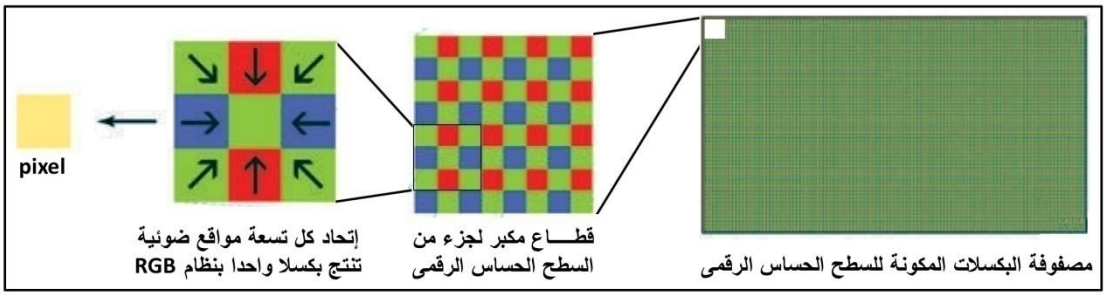
شكل (7): قطاع ثنائى الأبعاد لأحد الفراغات اللونية الرقمية مُمثلاً عليه مقارنة بين الحدود اللونية لنظام (RGB) والحدود اللونية لنظام (CMYK).

2-2- صناعة اللون فى الصورة السينمائية الرقمية:

Color Industry in Digital Cinema Image:

تعتمد صناعة اللون فى الصورة السينمائية الرقمية السطح الحساس الرقمى **(Digital Sensor)** الخاص بالكاميرا السينمائية الرقمية والذى يتم تسجيل المفردات اللونية للصورة السينمائية عليه فى شكل رقمى تبعاً لنظام **(RGB)**. ويتركب السطح الحساس **(Sensor)** من مجموعة من رقاقات السيلكون تحتوي كل رقاقة فيها على ملايين الصفوف والأعمدة يوضح على سطحها عناصر الصورة أو البكسلات **(Pixels)**, والتى تتوهج بشكل يتناسب مع كمية الضوء الساقط عليها والذي يصدر من النقطة المقابلة لها في الصورة الأصلية التي يتم تصويرها, وبالتالي يُعد البكسل هو الجزء الذي يتعامل فعلياً مع الضوء ويقوم بتجميع وتوليد الشحنات الكهربية، وبالتالي يُعبر كل بكسل **(Pixel)** عن الكثافات والألوان المقابلة له في الموضوع المصور, وعند سقوط الضوء على سطح السطح الحساس يقوم البكسل بتحويل الطاقة الضوئية (الفوتونات) إلى طاقة كهربية (إلكترونات) وتتناسب عملية التحويل مع شدة الإضاءة، فكلما زادت الطاقة الضوئية الساقطة على البيكسل كلما زادت قيمة الجهد الكهربي، وعن طريق محول خاص تتحول الإشارات الكهربية لمعلومات رقمية تعبر عن قيم النصوع واللون والتشبع, ونستعرض فى شكل (8) نظرية تسجيل القيم اللونية على البكسل **(Pixel)** من خلال قطاع مُكبر بأحد الأسطح الحساسة **(Sensors)** من طراز **(CMOS)** مقاس **(Super 35mm)**.

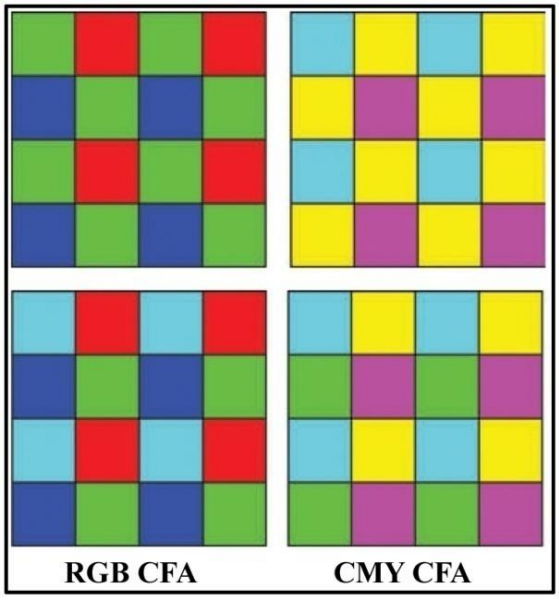
[12] David Stump, "Digital Cinematography:Fundamentals,Tools,Techniques & Workflows",Focal Press, USA,2014, p.197



شكل (8): نظرية تسجيل القيم اللونية على البكسل (Pixel) من خلال قطاع مُكبر بأحد الأسطح الحساسة (Sensors) من طراز (CMOS) مقاس (Super 35mm)[13].

وتكمن الصعوبة الحقيقية في أن الأسطح الحساسة الرقمية تكون فعليًا غير حساسة للألوان (**Monochromic**) – مثلها مثل حبيبات الفيلم السينمائى والتى تستخدم الصبغات لتكوين الألوان – فتصميم البيكسل لا يُمَكنهُ التفريق بين الفوتون الأحمر والأزرق والأخضر دون استخدام مرشحات لونية إذ أنه بدون استخدام المرشحات ستكون كل الإلكترونات المتولدة متشابهة لكل الأطوال الموجبة[14],

وبناء علي ما سبق، تُغطى البكسلات بشبكة من المرشحات الملونة (**Color Filter Array**) أو (**CFA**) تكون على شكل مربعات صغيرة، بحيث يتم تغطية كل بكسل بمرشح له لون من الثلاثة ألوان المكملة (**CMY**)، فيمر الضوء الساقط على عنصر الصورة من خلال هذا المرشح، وبالرغم من وجود مرشحات ملونة بالألوان الأساسية (**RGB**)، إلا أن نظام مرشحات الألوان المكملة (**CMY CFA**) يكون هو الأفضل نظراً لما يتميز به من زيادة الاستجابة للضوء مع نفاذية أعلى له، الأمر الذى يؤثر إيجاباً على القيم اللونية للصورة السينمائية الرقمية. ويعرض شكل (9) مجموعة من المرشحات التى تغطى عناصر الصورة سواء بنظام الألوان المكملة (**CMY CFA**) أو نظام الألوان الأساسية (**RGB CFA**)[15].



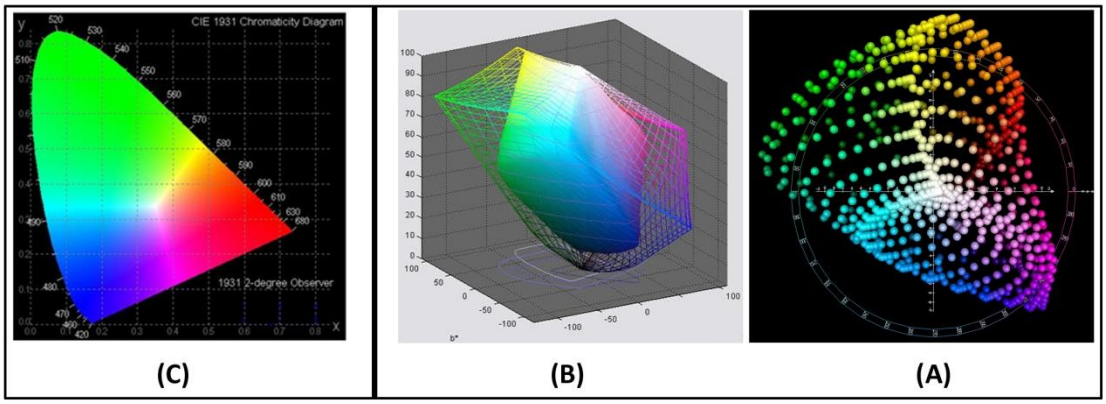
شكل (9): مجموعة من المرشحات التى تغطى عناصر الصورة سواء بنظام الألوان المكملة (CMY CFA) أونظام الألوان الأساسية (RGB CFA).

[13] David Stump, ibid, p.237
[14] Charles S.Swartz, ibid, p.166
[15] David Stump, ibid, p.238

3- الفراغات اللونية الرقمية المرتبطة بصناعة اللون فى الصورة السينمائية:
Digital Color Spaces related to Color Industry in Cinema Image:

3-1- الفراغ اللونى الرقمى CIE XYZ:

يُعد الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) هو التمثيل الرقمى للنموذج اللونى الأساسى (CIE 1931), ويستخدم الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) صيغة رياضية لتحويل القيم اللونية الأساسية (R/G/B) إلى قيم رقمية يتم التعبير عنها بأعداد صحيحة موجبة, ويمتلك الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) حدوداً لونية أقل من تلك الخاصة بالنموذج اللونى الأساسى (CIE 1931), ويعرض شكل (10) مقارنة بين تمثيل الحدود اللونية للنموذج اللونى (CIE 1931) على منحنى بيانى وبين تمثيل ثلاثى الأبعاد للحدود اللونية للفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) [16].



شكل (10): مقارنة بين تمثيل الحدود اللونية للنموذج اللونى (CIE 1931) على منحنى بيانى وبين تمثيل ثلاثى الأبعاد للحدود اللونية للفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) حيث (A): تمثيل للحدود اللونية التى يستطيع تمثيلها الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) مقاسة على مقياس (Vector scope) الخاص بأحد برامج التصحيح اللونى, (B): تمثيل ثلاثى الأبعاد للحدود اللونية الخاصة بالفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ), (C): تمثيل الحدود اللونية للنموذج اللونى (CIE 1931) على منحنى بيانى.

يعتبر الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) من أوائل الفراغات اللونية الرقمية التى تم تصميمها لتدعم كل خطط العمل الرقمية للفيلم السينمائى التقيلدى والفيلم السينمائى الرقمى والكاميرات السينمائية الرقمية على النحو التالى:

- فى حالة الصورة السينمائية التقليدية يتم إستخدام الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) فى عملية تكويد وتحويل باليته الألوان الصبغية للفيلم السينمائى إلى قيم لونية رقمية تعمل بنظام (RGB) من خلال برامج مخصصة تتواجد فى أجهزة المسح الفيلمية الرقمية (Digital Film Scanners).
- فى حالة الصورة السينمائية الرقمية فإن الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) يتم إستخدامه لمعايرة وتكويد قيم الألوان التى أنتجها السطح الحساس الرقمى الخاص بالكاميرات السينمائية الرقمية فى مرحلة إنتاج الصورة ومن ثم تصحيحها لونياً عن طريق برامج الوسيط الرقمى فى مرحلة ما بعد الإنتاج[17].

3-2- الفراغ اللونى الرقمى DCI-P3:

الفراغ اللونى الرقمى (DCI-P3) هو عبارة عن فراغ لونى مُتسع من نوعية (RGB), صُمم عن طريق مؤسسة (SMPTE) عام 2007م للعمل مع أجهزة العرض السينمائية الرقمية فى مرحلة العرض السينمائى الرقمى, ويُشير مصطلح (DCI) إلى (Digital Cinema Initiatives) وهو عبارة عن معايير لونية مقترحة للعمل مع نظام السينما الرقمية تم إبتكاره

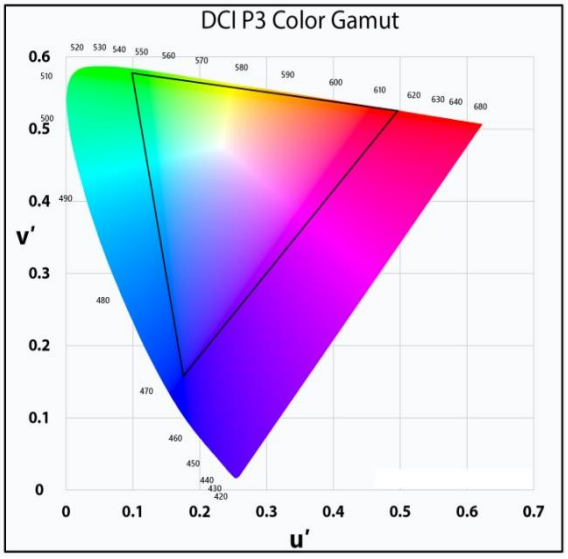
[16] http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/ciexyz.html
[17] Alexis Van Hurkman, ibid, p.119

عن طريق سبعة أستديوهات فى مدينة هوليوود الأمريكية. ويقدم هذا النموذج اللونى الرقمى حدوداً لونية أوسع بكثير عن تلك التى يقدمها النموذج اللونى الرقمى (CIE XYZ), الأمر الذى يؤدى إلى عدم القدرة على الإستفادة الكاملة من الحدود اللونية الواسعة للفراغ اللونى الرقمى (DCI-P3) وذلك حين يستقبل قيم الألوان المحولة إليه من الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ), ومع حلول عام 2013م, ظهرت أول شاشة عرض رقمية تكون قادرة على عرض صورتها طبقاً لمدى الألوان الواسع والخاص بالنموذج اللونى الرقمى (DCI-P3), وقد تم تسميه هذا النظام بإسم (Dolby Professional Reference Monitor PRM-4200). وتظهر الحدود اللونية للنموذج اللونى الرقمى (DCI-P3) مُمثلة على المنحنى اللونى البيانى لنموذج (C.I.E 1931) فى شكل (11), كما نرى هذه الحدود اللونية مُمثلة على المنحنى اللونى البيانى لنموذج (C.I.E Lu'v') فى شكل (12)[18].

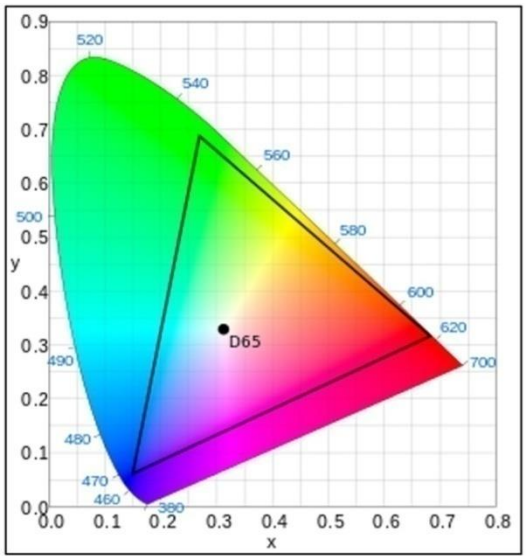
ولتحويل قيم ألوان الصورة السينمائية الرقمية من الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) إلى الفراغ اللونى الرقمى (DCI-P3) تمهيداً لعرضها رقمياً عن طريق أجهزة العرض السينمائية الرقمية, يتم إستخدام جداول التفحص (Lookup Tables) والتى يتم إستخدامها لتحويل قيم الألوان بين الفراغات اللونية المُ
مخرجة (Output Value) مقابلة أو مُناظرة لقيم مُدخلة (Value
مُعالجة الصورة, فيكون دورها هو تحويل مجموعة من ثلاث قيم لـ
(RGB).

شكل (12): الحدود اللونية للنموذج اللونى الرقمى (DCI-P3) مُمثلة على المنحنى اللونى البيانى لنموذج (CIE Lu'v').

فمثلا للتحويل من الفراغ اللونى الرقمى (CIE XYZ) إلى الفراغ اللونى الرقمى (DCI-P3), نجد أن قيم الألوان يتم التعبير عنها حسابياً بطريقة مُختلفة بين كلا النظامين, لذا يأتى دور جداول التفحص (LUTs) والتى يكون دورها هو إيجاد طريقة حسابية مُشتركة للتحويل بين قيم الأرقام المُعبرة عن الدرجات اللونية (Color Tones) فى الفراغات اللونية المُختلفة[19].



شكل (11): الحدود اللونية للنموذج اللونى الرقمى (DCI-P3) مُمثلة على المنحنى اللونى البيانى لنموذج (CIE 1931).



شكل (12): الحدود اللونية للنموذج اللونى الرقمى (DCI-P3) مُمثلة على المنحنى اللونى البيانى لنموذج (CIE Lu'v').

[18] https://www.noteloop.com/kit/display/color-space/dci-p3
[19] Alexis Van Hurkman, ibid, p.201

3-3- الفراغ اللونى الرقمى (ACES):

الفراغ اللونى الرقمى (ACES), يُطلق عليه أيضاً إسم نظام التكويد اللونى الأكاديمى (The Academy Color Encoding System), تم إبتكاره فى نهايات عام 2013م بواسطة أكاديمية علوم وفنون الفيلم السينمائى الأمريكية (Academy of Motion Picture Arts & Sciences), للعمل مع أنظمة تصوير ومعالجة وعرض الصورة السينمائية الرقمية بداية من مرحلة التصوير مروراً بمرحلة التصحيح اللونى وحتى الإنتاج النهائى للصورة ومن ثم عرضها رقمياً, كما أنه يُستخدم فى أغراض النقل الرقمى والأرشفة الرقمية لصورة السينما التقليدية بحيث يتم تصحيحها لونياً ثم عرضها أو حفظها على المدى الطويل دون أدنى تأثير على الجودة العامة للصورة[20].

يُعبر (ACES) عن الجيل الجديد من أجيال الفراغات اللونية الرقمية ذات المدى اللونى المُتسع (Wide Gamut), مُقدماً بذلك فضاءً لونياً شديد الإتساع, يتمكن من تغطية المدى الكامل لتدرجات الألوان المرئية (Visible Color Gamut), كما يُغطى كامل ألوان الطيف المرئى للعين البشرية (Human Visual Spectrum). ويستخدم (ACES) نظام تكويد لونى بدقة (16-Bit) – وهذا بخلاف دقة (8-Bit) للفراغات اللونية السابقة لإبتكاره – الأمر الذى يُتيح إمكانية تصوير وإنتاج الصورة السينمائية الرقمية بمدى ديناميكى عالى (High Dynamic Range) يصل إلى أكثر من (25 stops) فتحة تعريض حين يُستخدم لتكويد المدى الديناميكى المُمتد للألوان الأساسية (Extended RGB Primaries) الخاصة بالصورة السينمائية الرقمية – وذلك فى مقابل (12-14 stops) للفراغات اللونية السابقة لإبتكاره – الأمر الذى يُتيح مدى لونى شديد الإتساع لبيئة عمل الفيلم السينمائى[21].

تم تصميم الفراغ اللونى الرقمى (ACES) ليقوم بتحسين عملية تبادل المعلومات الرقمية للصور السينمائية بين مختلف أقسام منظومة إنتاج الصورة السينمائية حيث تحتوى كل مُعدة على فضاءاً لونياً وبيئة عمل خاصة بها, وأيضاً للحصول على أعلى جودة لونية (Color Fidelity) وأعلى مدى ديناميكى (Dynamic Range) سواءً من الفيلم السينمائى أومن الكاميرات السينمائية الرقمية. ويُقدم (ACES) مجموعة من المكونات ليتم إستخدامها مع مُختلف مُخططات العمل (Workflows) لأقسام منظومة الإنتاج السينمائى الرقمى, ومن هذه المكونات:

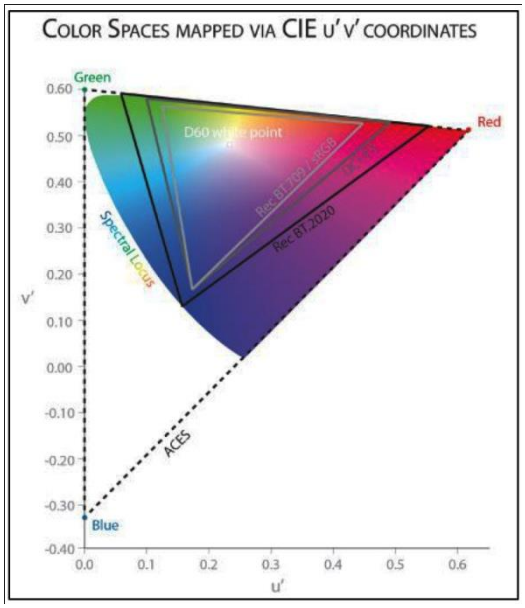
- فضاء لونى قياسى ذو خصائص ضوئية خطية (Linear-Light) يستخدم نظام تكويد لونى بدقة عالية (16-Bit), مما يتيح لليبكسلات (Pixels) أكثر من (30 Stops) فتحة تعريض للمدى الديناميكى (Dynamic Range), كما يتمكن البيكسل من تكويد كل درجات الألوان المرئية بواسطة نظام الرؤية البشرية.
- مواصفات قياسية للملف الرقمى, مع تطبيق لإشارة مفتوحة المصدر (Open Source Refrence Implementation), يتوضعان ويندمجان سوياً فى هيئة إصدار جديد من الملفات السينمائية الرقمية من نوعية (Open-EXR), من أجل تسهيل العمل مع مختلف أنواع الملفات الرقمية المُنتجة من مختلف أقسام منظومة عمل الفيلم السينمائى الرقمية, وبناءً عليه يتمكن الملف الرقمى الجديد (Open-EXR) من إستقبال معلومات الصورة الرقمية من أى نوعية ملف رقمى آخر.
- خاصية قياسية لتكويد قيم الكثافة, يُطلق عليها إسم (ADX Density Encoding), من أجل التوافق مع قيم كثافات الفيلم السينمائى التقليدى (Traditional Film) حين يتم تحويلها إلى شكل رقمى عن طريق الماسح الفيلمى الرقمى (Digital Film Scanner), وبُناء عليه يقوم نظام تكويد الكثافة (ADX) بنقل قيم الكثافة من

[20] David Stump, ibid, p.259
[21] Alexis Van Hurkman, ibid, p.271

الفيلم إلى العالم الرقمى بدقة تصل إلى (16-Bit) وهى دقة عالية جداً تتجاوز نطاق دقة النقل الخاصة بالفراغات اللونية الرقمية السابقة لإبتكار (ACES).

- أدوات تحويل مرجعية (Reference Transforms) للتحويل من النظام اللونى الرقمى (ACES) إلى أنماط خرج الفراغات اللونية القياسية الأخرى مثل الفراغ اللونى (DCI-P3) والخاص بنظام العرض السينمائى الرقمى, هذه المجموعة من أدوات التحويل تُسمى بإسم (ODT) أو (Output Device Transforms).
- أدوات تحويل مرجعية تتحكم فى ضغط تدرجات الصورة (Tone Compression) وأيضاً فى التشبع اللونى (Color Saturation), وتُسمى التقنية التى تعمل من خلالها تلك الأدوات بإسم (RRT) أو(Reference Rendering Transform), ومن أجل ضمان الحصول على جودة عالية للصورة السينمائية المُقدمة من خلال نظام (ACES), يجب أن يتم عرض تلك الصور من خلال تقنية (RRT).
- مجموعة من الصور المرجعية مُصححة لونياً مسبقاً توضع كنماذج قياسية فى برامج الماسحات والمُسجلات الفيلمية الرقمية, وتُسمى هذه الخاصية بإسم (ASAP) أو(Academy Scanner Analysis Patches), حيث يمكن تطبيق تأثير التصحيح اللونى المُجرى على الصورة المرجعية مُباشرة على الصورة السينمائية الرقمية التى يراد إجراء عملية التصحيح اللونى لها.
- مجموعة من الأكواد اللونية المُوصى بها فى مجال معايرة الإستجابات اللونية للكاميرات السينمائية الرقمية, الأمر الذى يُتيح إمكانية التحويل من ملفات (RAW) الخاصة بالكاميرات السينمائية الرقمية إلى ملفات (ACES), إى أن هذه الأكواد تُوفر مدخلاً لنظام ملفات (ACES) من تلك الكاميرات[22].

لذلك وإجمالاً لما سبق, لا يسعنا إلا أن نقول أن الفراغ اللونى الرقمى (ACES) قد تم تصميمه ليدعم كل خطط العمل الرقمية للفيلم السينمائى التقيلدى والفيلم السينمائى الرقمى والكاميرات السينمائية الرقمية وأيضاً منظومة عمل الوسيط الرقمى متضمنه فى ذلك أجهزة الحاسب الألى المُستخدمة فى عمليات تصحيح الصورة السينمائية الرقمية والتحكم فى جودتها, إلى جانب عملية العرض السينمائى الرقمى, ويعرض شكل (13) مقارنة بين الحدود اللونية للفراغ اللونى الرقمى (ACES) وبين الحدود اللونية لأشهر الفراغات اللونية الرقمية وذلك على المنحنى اللونى البيانى لنظام (C.I.E Lu'v')[23].



شكل (13): مقارنة بين الحدود اللونية للفراغ اللونى الرقمى (ACES) وبين الحدود اللونية لأشهر الفراغات اللونية الرقمية وذلك على المنحنى اللونى البيانى لنظام (C.I.E Lu'v'), حيث حيث تتحدد النقطة البيضاء (White Point) عند (D60), وتتحدد إحداثيات الفراغ اللونى (ACES) عند (x=0.32168, y=0.33767 , u'=0.2007777, v'=0.474205).

[22] **David Stump, ibid, p.260**
[23] **Alexis Van Hurkman, ibid, p.272**

3-3-1- فوائد الفراغ اللونى الرقمى (ACES) ACES Digital Color Space's Benefits:

يقدم النظام اللونى الرقمى **(ACES)** فوائد عديدة لمُختلف أقسام سلسلة إنتاج الصورة السينمائية سواءً كان ذلك فى مرحلة التصوير أو فى مرحلتى المعالجة والتصحيح اللوني للصورة السينمائية الرقمية.

أولاً: فوائد (ACES) لمديرى التصوير:

- ينزع الشك عند مضاهاة الألوان بين ألوان المشهد وقت التصوير وبين ألوانه عند إجراء عملية التصحيح اللونى **(Color Correction)** عن طريق أدوات الرؤية القياسية وأدوات التحويل **(ODTs)**.
- يحافظ **(ACES)** على المدى الكامل لمناطق الإضاءة العالية ومناطق الظلال ودرجات الألوان المُلتقطة وقت التصوير, للإستخدام خلال عمليات ما بعد الإنتاج مُتضمنة فى ذلك عملية التصحيح اللونى.
- يُعطى **(ACES)** نسبة **(18%)** تعريض كمعامل رؤية مشترك على الشاشات وعلى أجهزة العرض السينمائى, الأمر الذى يُتيح إستخدام أدوات القياس الفوتومترية التقليدية للتحكم فى قيم التعريض.
- يُتيح **(ACES)** إمتداد مستقبلى لباليتة الألوان المُكونة لفراغه اللونى, وذلك بإنتزاع التحديدات اللونية المتواجدة فى ملفات الصورة الرقمية التى تستخدم فراغات لونية رقمية تسبق ظهور **(ACES)** والتى تكون حدودها اللونية ومداها الديناميكى أقل من الحدود المُنتجة بواسطة إما كاميرات التصوير السينمائية الرقمية الحديثة أو الخام السينمائى التقليدى الحديث.

ثانياً: فوائد (ACES) لنظم المؤثرات الرقمية ووسائل ما بعد الإنتاج:

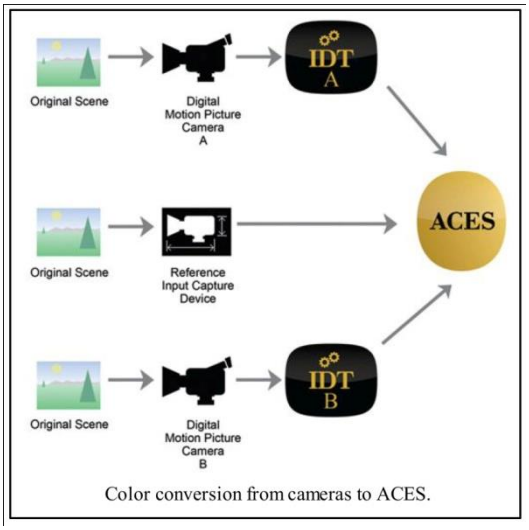
- يحفظ **(ACES)** الصور السينمائية بجودة عالية للإستخدام المستقبلى مع الجيل التالى من تكنولوجيا أجهزة الرؤية إلى جانب إتاحة التبادل الواقعى بين مختلف أنواع الصور السينمائية سواءً من الفيلم السينمائى التقليدى أو من مصادر الصورة الرقمية.
- إتاحة المعالجات المُختلفة على الصور الرقمية دون إجراء أى تغيير على صور المشهد الأصلى.
- يلخص عملية المُطابقة اللونية بين جميع أنواع الصور السينمائية من مُختلف المصادر متضمناً فى ذلك صورة الفيلم السينمائى التقليدى وصورة الفيلم السينمائى الرقمى وكذا ملفات الجرافيك المُعدة للسينما[24].

3-3-2- رؤية الفراغ اللونى الرقمى (ACES) Viewing ACES Digital Color Space:

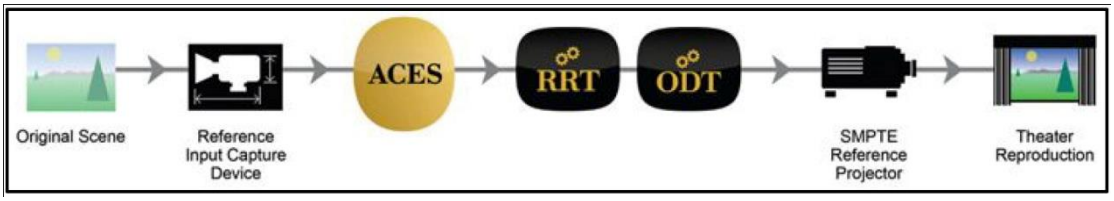
بما أن النظام اللونى الرقمى **(ACES)** يقوم بتكويد ألوان المشهد الأصلى, طبقاً للفراغ اللونى المستخدم مع جهاز الرؤية **(Viewing Device)**, لذا يجب مراعاة ضبط قيم **(ACES)** طبقاً لمواصفات جهاز الرؤية المُستخدم وطبقاً لبيئة العرض المُخطط لها, حتى يتم عرض الصُور السينمائية المسجلة بأمانة ودون فقد فى الجودة ويعرض شكل (14) مخطط التحويل اللونى من الكاميرات السينمائية الرقمية إلى الفراغ اللونى الرقمى **(ACES)**.

بالنسبة لنظم العرض السينمائية الرقمية, فإن هذا الضبط الرقمى يتم تنفيذه عن طريق تقنية **(RRT)** بالإضافة إلى جهاز رؤية متخصص يعمل بتقنية **(ODT)**, حيث يتم دمج إمكانيات التقنيتان معاً فى صورة أدوات تحويل واحدة, الأمر الذى يُتيح رؤية المسار الكامل للإشارة المرجعية لنظام **(ACES)** بداية من تصوير المشاهد الأصلية وصولاً إلى نُسخة العرض الجماهيرى كما يتضح فى شكل (3-80)[25].

[24] David Stump, ibid, p.261
[25] Alexis Van Hurkman, ibid, p.273

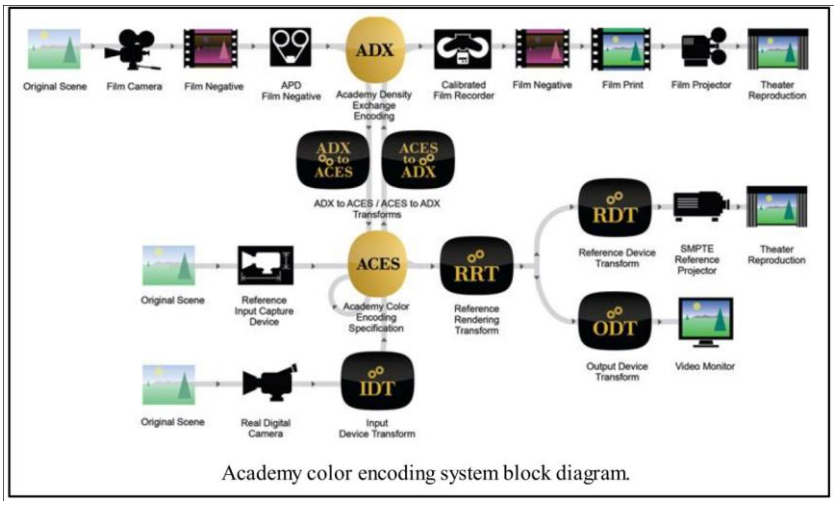


شكل (14): مخطط يوضح التحويل اللونى من الكاميرات السينمائية الرقمية إلى نظام (ACES) اللونى الرقمى.



شكل (15): مسار الإشارة المرجعية لنظام (ACES) بداية من تصوير المشاهد الأصلية وصولاً إلى نُسخة العرض الجماهيرى.

ويعرض شكل (16) مُخطط العمل الكامل للنظام اللونى الرقمى **(ACES)** مُتضمناً سلسلة إنتاج الفيلم السينمائى **(Film Production Chain)** بإستخدام النقل والمسح الفيلمى بتقنية **(ADX)**, ويُراعى فى هذا الصدد إجراء مُعايرة لونية بين الماسح الفيلمى **(Film Scanner)** والمُسجل الفيلمى **(Film Recorder)** من أجل إستخدام تقنية **(ADX)** القياسية بشكل سليم, وهنا يتيح نظام **(ACES)** إمكانية التحويل من نظام **(ADX)** إلى **(ACES)** لقرائة قيم الكثافات على الفيلم السينمائى ومن ثم ترجمة هذه القيم إلى صورة نهائية رقمية[26].



شكل (16): المخطط المرجعى الكامل لنظام عمل الفراغ اللونى الرقمى (ACES) لتكويد الألوان.

[26] David Stump, ibid, p.262

وبما أن إتحاد تقنيتى (**RRT**) و(**ODT**) يخلق علاقة لونية تناقلية بين قيم (**RGB**) لنظام (**ACES**) وبين المُخرجات اللونية لأجهزة الرؤية والعرض القياسية المشتركة, لذا يتمكن نظام (**ACES**) من إستقبال الصور السينمائية الرقمية المُعدة بالأنظمة اللونية (**CIE XYZ**) و(**DCI–P3**) ومن ثم تحويلها عكسياً إلى أنظمة (**RRT\ODT**) من أجل خلق ملفات رقمية مكودة بنظام (**ACES**) لأغراض الأرشفة الرقمية للصور السينمائية وتُكود هذه الملفات بإمتداد (**Open EXR**) المُعدل, وبالرغم من أن الملفات المُحولة من الفراغات اللون الرقمية (**CIE XYZ**) و(**DCI–P3**) إلى (**ACES**) لا تحتوى على نفس الفراغ اللونى المُمتد (**Extended Color Space**) لنظام (**ACES**), الإ أن (**ACES**) يتيح إستخدام هذه النوعية من الملفات مع منظومه العمل الخاصة به بنجاح[27].

النتائج:

- الفراغ اللونى الرقمى (**ACES**) هو الفراغ اللونى الرقمى الأمثل للتعامل مع صناعة الصورة السينمائية الرقمية سواء كان مصدرها رقمى أو تقليدى, نظراً لما يمتلكه من حدود لونية تكون أوسع من الحدود اللونية لكلا الفراغين اللونيين الرقميين (**CIE XYZ**),(**DCI–P3**).
- بدراسة مميزات الفراغ اللونى الرقمى (**ACES**) نجد أنه يستطيع أن يقوم بدور الفراغيين اللونيين الرقميين (**CIE XYZ**),(**DCI–P3**) سوياً وأن يحل محلهما, دون الحاجة إلى تحويل قيمه اللونية الرقمية من مرحلة إلى أخرى أثناء إنتاج الصورة السينمائية – تقليدية أو رقمية – مثلما يحدث مع الفراغين اللونيين الرقميين (**CIE XYZ**),(**DCI–P3**), الأمر الذى يوفر فى الوقت ويزيد من جودة الصورة النهائية.
- أدوات التحويل المرجعية التى يمتلكها نظام (**ACES**) تمكنه من التوافق فى العمل مع الفراغات اللونية الرقمية الأخرى, إذ يتمكن (**ACES**) من إستقبال القيم اللونيه لأى فراغ لونى رقمى أخر وتكويدها لتتناسب مع بيئة العمل الخاصة به, إلى جانب تحويل قيمه اللونية إلى أنماط خرج الفراغات اللونية الرقمية الأخرى مثل الفراغ اللونى (**DCI–P3**) والخاص بنظام العرض السينمائى الرقمى, مما يجعله الأفضل فى العمل لدى صُناع الصورة السينمائية.
- خاصية (**ADX Density Encoding**) لتكويد قيم كثافات الفيلم السينمائى التقليدى رقمياً بدقة عالية تصل إلى (**16–Bit**) هى خاصية لا تتواجد بهذه الدقة العالية إلا فى نظام عمل الفراغ اللونى الرقمى (**ACES**), الأمر الذى يجعله الأفضل حين العمل به عند نقل صورة الفيلم السينمائى التقليدى إلى الشكل الرقمى.

التوصيات:

- يوصى الباحث بضرورة إستخدام الفراغ اللونى الرقمى (**ACES**) للتحكم فى جودة إنتاج الصورة السينمائية فى جميع مراحل إنتاجها, والإستغناء عن الفراغات اللونية الرقمية التى سبقت إبتكاره.
- ضرورة الدراسة الأكاديمية والعلمية لتكنولوجيا إنتاج اللون فى الفراغ اللونى الرقمى (**ACES**) قبل إستخدامه من أجل الحصول على أعلى جودة لونية ممكنة للصورة السينمائية النهائية والمجهزة للعرض الجماهيرى.

[27] **David Stump, ibid, p.262**

المراجع:

أولاً: المراجع الأجنبية:

- Alexander Poularikas, "Digital Color Imaging Handbook", Focal Press, U.S.A, 2013
- Alexis Van Hurkman, " Color Correction Handbook: Professional Techniques for Video and Cinema", Focal Press, U.S.A, 2014
- Blain Brown, "Cinematography : Theory and Practice", Second Edition, Focal Press, U.S.A, 2012
- Charles S. Swartz, "Understanding Digital Cinema", Second Edition, Focal Press, U.S.A, 2011
- David Stump: "Digital Cinematography : Fundamentals, Tools, Techniques & Workflows ", Focal Press, New York, 2014
- Dominic Case, "Film Technology in Post Production", Third Edition, Focal Press, U.S.A, 2009
- Glenn Kennel, "Color & Mastering for Digital Cinema", Focal Press, U.S.A, 2007
- Paul Wheeler,"Practical Cinematography", Second edition, Focal Press, U.S.A, 2005

ثانياً: الدوريات العلمية والأبحاث المنشورة الأجنبية:

- Maureen C. Stone, "A Survey of Color for Computer Graphics", Course at SIGGRAPH, white paper, 2013

ثالثاً: مواقع الإنترنت:

- http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/ciexyz.html
- https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/color-spaces.htm
- https://www.noteloop.com/kit/display/color-space/dci-p3